

# **CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DE LÍQUENES EPÍFITOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE LOJA (ECUADOR)**

## **Changes in the epiphytic lichen composition related with air quality in the city of Loja (Ecuador)**

**DIEGO A. OCHOA-JIMÉNEZ**

**ANABEL CUEVA-AGILA**

*Departamento de Ciencias Naturales, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.  
diego-8a-@hotmail.com, ani.cueva@gmail.com*

**MARÍA PRIETO**

*Área de Biodiversidad y Conservación, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles,  
Madrid, España. Botany Department, Swedish Museum of Natural History, Stockholm, Sweden*

**GREGORIO ARAGÓN**

*Área de Biodiversidad y Conservación, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, Móstoles,  
Madrid, España*

**ÁNGEL BENITEZ**

*Museo de Colecciones Biológicas (MUTPL), Departamento de Ciencias Naturales, Universidad  
Técnica Particular de Loja, Ecuador. arbenitez@utpl.edu.ec*

### **RESUMEN**

A pesar de que la contaminación del aire constituye uno de los principales problemas en la ciudad de Loja, actualmente no existe una estrategia para monitorear las emisiones de contaminantes. Los líquenes epífitos han sido ampliamente utilizados como bioindicadores de la contaminación atmosférica, debido a que obtienen la mayor parte de nutrientes del aire, lo que los hace muy sensibles a los cambios derivados de la contaminación. Se evaluó la calidad del aire en siete parques de la ciudad, donde se registró la presencia y la cobertura de líquenes epífitos sobre árboles de *Salix humboldtiana*. Se determinaron los niveles de contaminación con el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) y se establecieron diferencias en la composición de especies de los parques mediante análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) y PERMANOVA. Nuestros resultados mostraron la existencia de una mayor calidad ambiental en las zonas norte y sur de la ciudad, mientras que se observa un patrón contrario para los parques ubicados en la zona central de la urbe, muy relacionados con un aumento de tráfico vehicular. Las comunidades de líquenes epífitos resultaron ser excelentes indicadores biológicos para detectar la contaminación del aire en la ciudad.

**Palabras clave.** Bioindicadores, contaminación atmosférica, diversidad, líquenes, Loja.

### **ABSTRACT**

Although air pollution constitutes one of the main environmental problems in the city of Loja currently, there is not an strategy for monitoring air pollution emissions.

Epiphytic lichens have been widely used as bioindicators of air pollution because they get most nutrients from the air, which makes them very sensitive to changes in pollution levels. Air quality was evaluated in seven parks inside the city, where the presence and coverage of epiphytic lichens on *Salix humboldtiana* trees were recorded. Pollution levels were determined by the Index of Atmospheric Purity (IAP) and differences in lichen composition were assessed by a non-metric multidimensional scaling (NMDS) analysis and PERMANOVA. Our results demonstrated higher air quality in the northern and southern areas of the city, while an opposite pattern was observed in the parks from the central area of the city likely related to increased vehicular traffic. Epiphytic lichen communities were found to be excellent biological indicators of air pollution in Loja.

**Key words.** Air pollution, bioindicators, diversity, lichens, Loja.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación del aire se ha identificado como uno de los principales problemas ambientales en las zonas urbanas del mundo, debido a factores como la producción industrial, el flujo intenso de vehículos, el uso de tecnologías obsoletas en la producción, la escasa calidad en el saneamiento básico y la falta de planificación del crecimiento urbanístico (Ministerio del Ambiente Ecuador 2010). La calidad del aire es un factor importante para determinar las condiciones de vida de las personas de un centro urbano; así, una ciudad con aire saludable es ventajosa para vivir en relación a ciudades contaminadas que muestran evidencias de poco bienestar, visibilidad reducida, suciedad en edificaciones, afecciones a la naturaleza o perjuicios sobre la salud (Rojas 2010).

Los espacios verdes en áreas urbanas juegan un papel importante, ya sea como áreas sociales, recreacionales o por su valor ecológico (Bolund & Hunhammar 1999, Tzoulas *et al.* 2007). Estos espacios verdes constituyen una fuente de absorción de dióxido de carbono y producción de oxígeno, actúan como amortiguadores de calor, absorben contaminantes y proporcionan hábitats para diversos organismos, por ello estas áreas pueden ser útiles para evaluar las condiciones de sustentabilidad ambiental urbana (García & Guerrero 2006).

La ciudad de Loja ha experimentado un acelerado proceso de urbanización y desarrollo que ha generado impactos ambientales, entre los que destaca la contaminación del aire como uno de los principales problemas, debido al incremento del parque automotor y la concentración de las actividades en el centro de la ciudad que producen una gran cantidad de gases contaminantes, ruido, vibraciones y caos en el transporte (PNUMA *et al.* 2007). Sin embargo los estudios de calidad del aire son insuficientes en el país y no existe una estrategia para monitorear las emisiones de los contaminantes.

Los líquenes epífitos han sido ampliamente utilizados como bioindicadores de la calidad del aire (Gries 1999, Hawksworth *et al.* 2005, Giordani 2007, Lijteroff *et al.* 2009) principalmente por las siguientes características: 1) crecen en una gran variedad de hábitats, 2) absorben grandes cantidades de contaminantes a través de toda su superficie, y 3) viven durante periodos considerables de tiempo (Hawksworth *et al.* 2005). Además, son organismos poiquilohídricos que carecen de mecanismos que regulen la captación y pérdida de agua (Nash 1996), de forma que sus talos quedan en estrecha relación con el ambiente, por lo que están expuestos a los contaminantes presentes en el aire (Rubiano 1983).

La contaminación atmosférica afecta a las comunidades de líquenes y, dependiendo de la naturaleza y la concentración de los contaminantes, podría provocar una disminución en el número y la abundancia de las especies (Gries 1999, Giordani 2007). Bajo esa premisa, varios estudios han documentado que valores elevados del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) se suelen relacionar con áreas libres de contaminantes (Rubiano 1983, Giordani 2007, Fugal *et al.* 2008, Lijteroff *et al.* 2009, Simijaca-Salcedo *et al.* 2014). A pesar de ello, los estudios en Ecuador son limitados y a nivel local no existen estudios enfocados a utilizar líquenes epífitos como indicadores de la contaminación atmosférica. El objetivo del presente estudio fue determinar cambios en la composición de líquenes epífitos en relación con la contaminación ambiental, utilizando el Índice de Pureza Atmosférica (IPA). Específicamente buscamos responder a las siguientes preguntas: 1. ¿Existen diferencias en el IPA de los parques de la ciudad?, 2. ¿Existe una relación de los valores del IPA con la cercanía al núcleo urbano? y 3. ¿Cambia la composición de las comunidades de líquenes epífitos entre los diferentes parques de la ciudad?.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en la ciudad de Loja, ubicada en la Región Sur del Ecuador, con una extensión de 52 km<sup>2</sup> y situada a 2100 m de altitud. El clima es temperado-ecuatorial subhúmedo con una temperatura media anual de 15°C. Los valores de precipitación fluctúan alrededor de los 900 mm/año y la humedad relativa media del aire es de 75 % (PNUMA *et al.* 2007). Se seleccionaron siete parques distribuidos a lo largo de la ciudad: El Sendero Ecológico (P1) y El Parque Recreacional Jipiro (P2) ubicados en la zona norte de la

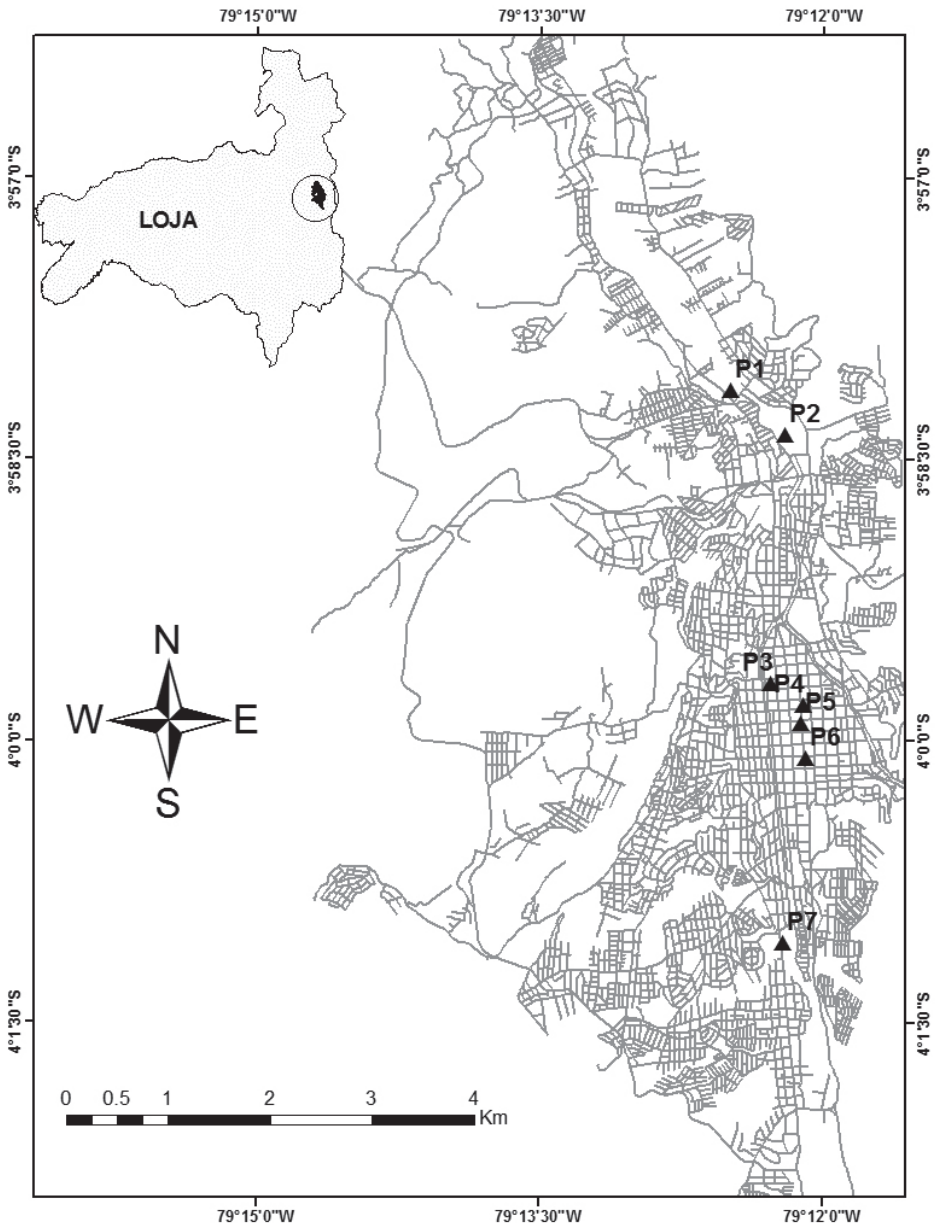
ciudad. En la zona central de la urbe los parques Simón Bolívar (P3), Central (P4), Santo Domingo (P5) y San Sebastián (P6). Finalmente en la zona sur de la ciudad se seleccionó el parque Lineal (P7) (Figura 1).

### Diseño y recolección de datos

En cada uno de los parques se seleccionaron árboles de *Salix humboldtiana* Willd. con la finalidad de homogeneizar el forófito, debido a que el crecimiento de líquenes depende fuertemente de las características del sustrato (Riquelme 2008, Lijteroff *et al.* 2009). Se seleccionaron 70 árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) superiores a 22 cm y sin daños en sus cortezas. En cada árbol se registró la frecuencia y cobertura de líquenes con una unidad de muestreo de 10 × 50 cm, dividida en 20 cuadrículas de 5 × 5 cm, que colocamos verticalmente sobre el tronco a una altura de 1 m del suelo (Calatayud Lorente & Sanz Sánchez 2000). El muestreo se realizó en el periodo de enero-agosto del 2013. Para la identificación de especies se utilizaron claves dicotómicas estandarizadas (Brodo *et al.* 2001, Nash *et al.* 2004, Aptroot *et al.* 2008, Bungartz 2008). La nomenclatura para las especies sigue exclusivamente a Mycobank.org. Las especies fueron depositadas en el Museo de colecciones biológicas de la Universidad Técnica Particular de Loja, herbario HUTPL-Colección de briofitas y líquenes.

### Análisis de datos

La calidad del aire en cada parque se analizó utilizando los líquenes epífitos mediante el Índice de Pureza Atmosférica (IPA), propuesto por Le Blanc & De Sloover (1970) y modificado por Rubiano (1983), que toma en cuenta la frecuencia, cobertura, el número de forófitos por estación y el factor de resistencia de cada especie ( $Q_i$ ).



**Figura 1.** Área de estudio. Ciudad de Loja con las estaciones de muestreo (parques).

El IPA se calculó con base en las siguientes fórmulas:

$$Q_i = \sum_j \frac{A_j - 1}{E_j}$$

En la cual:

$Q_i$ : Factor de resistencia de la especie  $i$

$A_j$ : Número de especies presentes en cada estación donde se encuentre  $i$

$E_j$ : Número de estaciones donde se halle  $i$

En la cual:

$$\text{IPA}_j = \sum \frac{(Q_i \times F_i)}{n} \times C_i$$

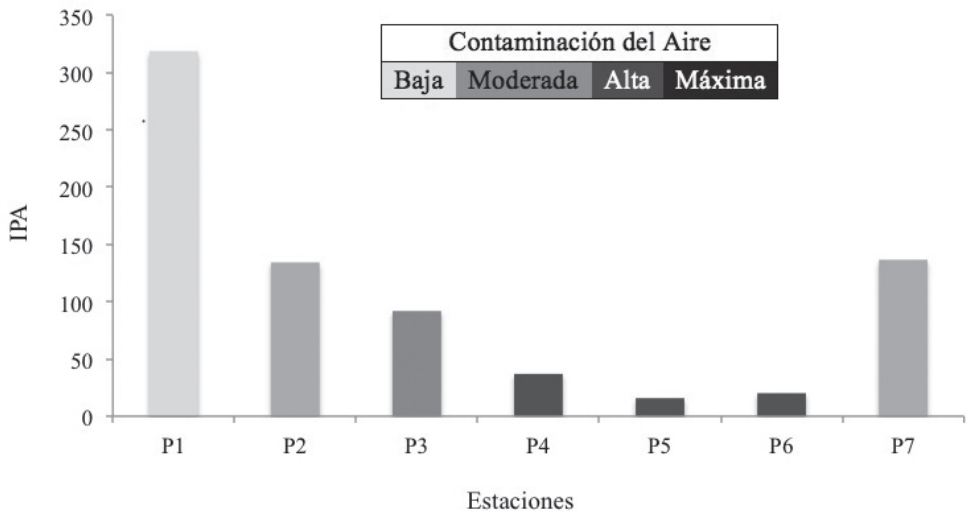
$C_i$ : Cobertura relativa de la especie  $i$  en la estación  $j$

$F_i$ : Frecuencia de la especie  $i$  (número de forófitos de la estación  $j$  en que aparece la especie  $i$ )

$n$ : Número de forófitos censados en la estación  $j$

Las diferencias en la composición de especies y los efectos de variabilidad entre zona y parque se determinaron con un análisis

multivariante de dos factores basado en permutaciones (PERMANOVA) sobre los datos de cobertura de las especies. En este análisis, el diseño incluyó dos factores: zona (3 niveles) y parque (7 niveles). Adicionalmente, se realizó un PERMANOVA por pares para determinar la similitud de especies entre zonas, para lo cual se utilizó la distancia Bray-Curtis. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico PRIMER 6.1.11 (Anderson *et al.* 2008). Se llevó a cabo un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) para ilustrar la variabilidad de las comunidades de líquenes epífitos. El NMDS se calculó de modo automático comparando los seis ejes. El modelo ajustado es aquel que presenta el menor estrés. Para interpretar la relación de la variable y la composición de las comunidades se calculó el coeficiente de determinación (Correlación de Pearson) entre la variable predictiva (IPA) y los ejes. El nivel de significancia se determinó con la prueba de Monte Carlo (1000 permutaciones). El análisis NMDS y el coeficiente de determinación se realizaron con el programa R y el paquete estadístico “vegan” (Oksanen *et al.* 2013).



**Figura 2.** Valores del Índice de Pureza Atmosférica (IPA) en cada uno de los parques muestreados.

## RESULTADOS

Se registraron un total de 21 especies de líquenes epífitos en los 70 árboles muestreados. Los parques que mostraron mayor riqueza fueron los de la zona norte y sur (P1, P2 y P7) con 18, trece y doce especies respectivamente, mientras que la riqueza de especies disminuyó considerablemente (de tres a diez especies) en los de la zona central (P3, P4, P5 y P6, tabla 1). Los valores del IPA mostraron un patrón similar donde los parques con baja y moderada contaminación del aire corresponden a la zona norte y sur; y los de mayor contaminación a los ubicados en la zona central (Figura 2).

Los análisis multivariantes señalaron que la composición de las comunidades de líquenes se estructuran acorde a diferentes escalas y que un elevado porcentaje de la variabilidad fue explicada por la zona y parque (Tabla 2). Además, los análisis multivariantes por pares basados en índices de similitud mostraron diferencias significativas en la composición de especies entre las zonas más alejadas y

el centro, mientras que entre los parques de las zonas norte y sur donde el nivel de contaminación es menor, no se detectaron diferencias significativas (Tabla 3).

**Tabla 2.** Resultados del análisis PERMANOVA de dos factores de la composición de líquenes por zona y parque. Grados de libertad (df); suma de cuadrados (MS); estadístico (F); nivel de significación (*P*) y coeficiente de variación (CV).

Factor	df	MS	Estadístico-F	<i>P</i>	CV (%)
Zona	2	17400	2.0914	0.037	22.298
Parque (Zona)	4	5552.5	2.7473	0.001	22.111
Error	63	2021.1			44.956

**Tabla 3.** Resultados del análisis PERMANOVA por pares de las tres zonas, mostrando la disimilaridad (%), disimilaridad en función del índice de Bray-Curtis y nivel de significancia (*P*).

Zonas	Disimilaridad (%)	<i>P</i>
Zona norte vs Zona central	80.64	0.022
Zona norte vs Zona sur	49.02	0.488
Zona central vs Zona sur	80.96	0.027

**Tabla 1.** Cobertura promedio de las especies (árboles hospederos) por parque.

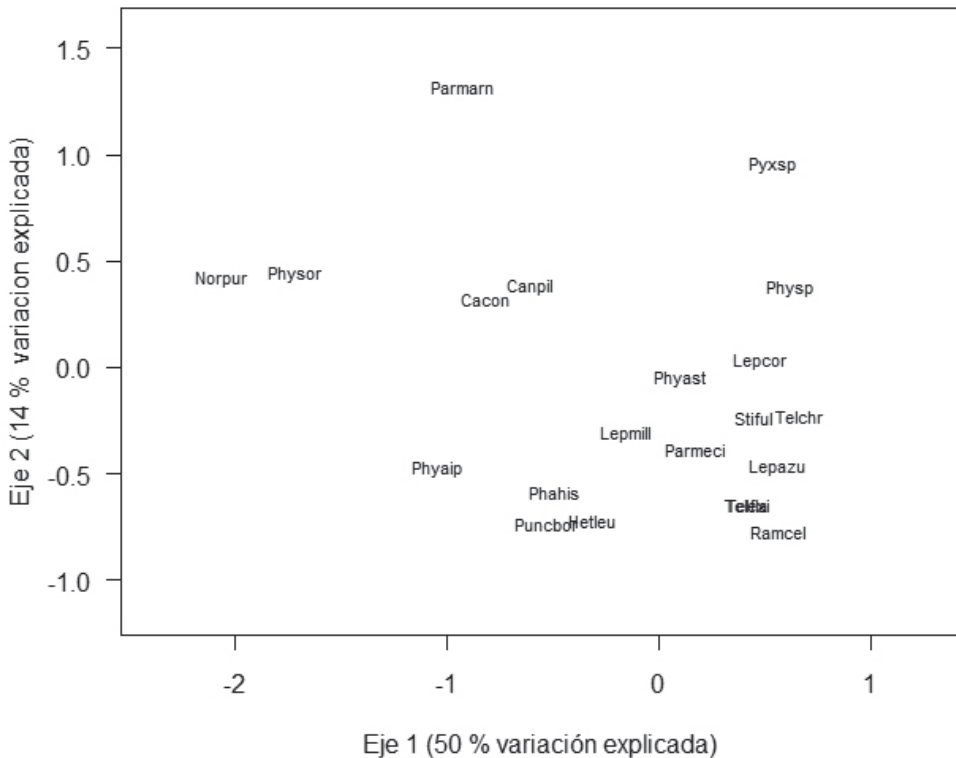
Líquenes	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
	Cobertura %						
<i>Candelaria concolor</i> (Dickson) Stein.	0,05	0,18	5,08	4,61	3,85	1,03	0,59
<i>Canomaculina</i> aff. <i>pilosa</i> (Stizenb.) Elix & Hale	-	-	0,24	-	-	-	0,09
<i>Heterodermia leucomela</i> (L.) Poelt	0,01	0,04	-	-	-	-	-
<i>Leptogium azureum</i> (Sw.) Mont.	0,03	-	-	-	-	-	-
<i>Leptogium coralloideum</i> (Meyen & Flot.) Vain.	0,08	-	-	-	-	-	-
<i>Leptogium milligranum</i> Sierk	0,46	1,45	-	-	-	-	-
<i>Normandina pulchella</i> (Borrer) Nyl.	-	-	2,20	0,05	-	-	-
<i>Parmotrema</i> aff. <i>eciliatum</i> (Nyl.) Hale	0,60	0,15	-	0,33	-	-	0,15
<i>Parmotrema arnoldii</i> (Du Rietz) Hale	0,01	0,08	1,50	0,10	6,83	12,05	0,08
<i>Phaeophyscia hispidula</i> (Ach.) Essl.	3,72	5,54	4,52	-	-	-	0,02
<i>Physcia</i> aff. <i>atrostriata</i> Moberg	11,61	10,95	6,81	0,82	6,47	1,52	4,04
<i>Physcia aipolia</i> (Ehrh. ex Humb.) Furnr.	0,03	0,10	0,10	-	-	-	-
<i>Physcia</i> sp.	2,26	5,43	-	0,15	-	-	9,31
<i>Physcia solediosa</i> (Vainio) Lyngé	-	-	3,35	-	1,17	-	-
<i>Punctelia borreri</i> (Sm.) Krog	3,85	0,55	0,12	4,57	1,17	-	-
<i>Pyxine</i> sp.	0,07	-	-	-	-	-	-
<i>Ramalina celastri</i> (Sprengel) Krog & Swinscow	0,70	0,01	-	-	-	-	-
<i>Sticta fuliginosa</i> (Hoffm.) Ach.	0,20	-	-	-	-	-	0,02
<i>Teloschistes chrysophthalmus</i> (L.) Th. Fr.	0,67	-	-	-	-	-	1,14
<i>Teloschistes exilis</i> (Michaux) Vainio	3,37	0,03	-	-	-	-	0,50
<i>Teloschistes flavicans</i> (Sw.) Norman	3,37	0,03	-	-	-	-	0,50
<b>Riqueza de especies</b>	18	13	10	7	4	3	12

El análisis de escalamiento multidimensional (NMDS) con mejor ajuste resultó en una solución de dos ejes con un estrés medio de 22. El eje uno ( $r^2=0.50$ ) explicó la mayor parte de variabilidad en la composición de especies, a diferencia del eje dos que explicó una menor variabilidad ( $r^2=0.14$ , Figura 3). Los valores del IPA presentaron correlaciones altas y valores positivos con el eje uno (Eje 1= $0.65$ ,  $p=0.0009$ ,  $r^2=0.55$ ), mientras el eje dos se correlacionó de manera negativa (Eje 2= $-0.85$ ,  $p=0.0009$ ,  $r^2=0.55$ ). Especies como *Leptogium milligranum*, *L. azureum*, *L. coralloideum*, *Sticta fuliginosa* y *Teloschistes chrysophthalmus* presentan una correlación positiva con el eje uno y se encuentran asociadas con los parques fuera de la urbe que presentaron los valores más altos del IPA. Por el contrario, *Candelaria concolor*, *Parmotrema arnoldii* y *Physcia solediosa*

estuvieron negativamente correlacionadas con el eje uno y se asociaron a los parques del centro de la ciudad y valores bajos del IPA.

## DISCUSIÓN

Nuestros resultados mostraron cambios en la diversidad de las comunidades de líquenes epífitos a medida que nos adentramos en la ciudad. Existe una relación positiva entre los parques más alejados con mejor calidad ambiental y aumento en la riqueza de especies, mientras que se observa el patrón contrario para los parques situados en la urbe, donde se registró menor riqueza de especies. Basados en observaciones similares Gries (1999) y Rubiano (2002) afirman que los efectos de la contaminación por fuentes móviles disminuyen la diversidad y la frecuencia de líquenes.



**Figura 3.** Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) de la composición de especies de líquenes.



Los resultados del Índice de Pureza Atmosférica concuerdan con varios estudios que documentan que los sitios contaminados presentan valores del IPA bajos y lo relacionan con la ubicación de la zona, grado de intervención humana, tránsito vehicular y zonas industriales (Canseco *et al.* 2006, Anze *et al.* 2007, Lijteroff *et al.* 2009, Käffer *et al.* 2011). Basado en el tráfico vehicular PNUMA *et al.* (2007) reporta que las partículas menores de 2.5  $\mu\text{m}$  presentes en los puntos críticos de congestión vehicular (zona central) de la ciudad de Loja, sobrepasan los valores de la normativa ecuatoriana de calidad del aire, siendo la principal fuente de contaminación. Así, varios estudios han documentado que los principales contaminantes por tráfico vehicular como las micro partículas,  $\text{NO}_x$  (óxidos de nitrógeno),  $\text{SO}_2$  (dióxido de azufre), CO (monóxido de carbono) y  $\text{O}_3$  (Ozono) tienen efectos negativos sobre las características morfológicas, fisiológicas y en la diversidad de líquenes (Garty *et al.* 1993, Egger *et al.* 1994, Frati *et al.* 2006, Fenn *et al.* 2007, Purvis & Pawlik-Skowronska 2008).

Los análisis multivariantes corroboraron los resultados del IPA al agrupar a las comunidades de líquenes epífitos de acuerdo a diferentes niveles de contaminación, donde los parques de la zona norte y sur presentaron mayor similitud en cuanto a la composición de especies y menor similitud con los parques de la zona central. De acuerdo a este resultado Conti & Cecchetti (2001), señalan que los cambios en la composición de las comunidades de líquenes se asocian con la contaminación atmosférica, existiendo una correlación negativa entre la diversidad de líquenes y la concentración de contaminantes, por ejemplo óxidos de nitrógeno (Van Dobben *et al.* 2001, Truscott *et al.* 2005, Wolseley *et al.* 2006, Giordani 2007, Pescott *et al.* 2015). Por ello, cuando los niveles de contaminación atmosférica son bajos, los líquenes se desarrollan adecuadamente sobre troncos de árboles, suelo y rocas, sin embargo en lugares

contaminados se observa que la cobertura y abundancia de algunas especies tienden a disminuir o incluso desaparecer (Méndez & Fournier 1980).

Los líquenes presentan diferentes niveles de tolerancia a los contaminantes, de esta forma, mientras que algunas especies pueden sobrevivir en ambientes contaminados de forma severa, otras desaparecen debido a su elevada sensibilidad ante estos eventos (Deltoro *et al.* 1999, Kranner *et al.* 2008). En nuestro caso, las diferencias entre los parques de la zona norte y sur versus la zona central de la ciudad fueron atribuidas a mayor frecuencia y cobertura de especies sensibles correlacionados con valores altos del IPA (Figura 3). Es necesario considerar que éste es un índice que evalúa el nivel de contaminación atmosférica basado en la diversidad de líquenes (Conti & Cecchetti 2001, Kricke & Loppi 2002). Estudios previos han documentado que *Leptogium milligranum*, *L. azureum*, *L. coralloideum*, *Sticta fuliginosa* y *Teloschistes chrysophthalmus* son muy sensibles a los contaminantes (Rubiano 1983, Barreno & Pérez-Ortega 2003, Canseco *et al.* 2006, Rincón 2012). Todas estas especies estuvieron presentes en los parques de la zona norte y sur de la ciudad. Sin embargo, en los parques de la zona central de la ciudad aparecieron con mayor frecuencia *Candelaria concolor*, *Phaeophyscia hispidula* y *Physcia* aff. *atrostriata* (Tabla 1), caracterizadas por tener una mayor tolerancia a la contaminación (Sáenz *et al.* 2007, Rincón 2012). En este sentido, Santoni & Lijteroff (2006) señalan que la disminución en la calidad del aire va ligada a la reducción y desaparición de grupos de especies sensibles, permaneciendo las especies más tolerantes a los contaminantes. De esta forma las comunidades de líquenes epífitos se van empobreciendo y pasan a estar dominadas por unos pocos grupos de especies adaptadas a los cambios en el ambiente (Brunialti & Giordani 2003), como se evidenció en los parques del centro de la ciudad de Loja.



Podemos concluir indicando que el centro de la ciudad de Loja mantiene una peor calidad del aire que las zonas situadas en el norte y el sur, con menores valores en el Índice de Pureza Atmosférica, muy relacionados con el incremento del parque automotor y menor área verde. La composición de especies permitió agrupar los parques de la ciudad con diferentes niveles de contaminación. Esta investigación constituyó el primer resultado en la determinación de niveles de contaminación atmosférica para la ciudad de Loja a partir de líquenes epífitos como bioindicadores, lo que permitirá desarrollar programas para mejorar las condiciones de calidad del aire en la ciudad.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica Particular (UTPL), Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) y al Herbario HUTPL. De manera especial a Augusta Cueva, Lorena Riofrío y Carlos Naranjo por su colaboración y apoyo durante el desarrollo del estudio. Finalmente a Thibaut Delsinne por sus comentarios para mejorar el manuscrito.

## LITERATURA CITADA

- ANDERSON, M.J., R.N. GORLEY & K.R. CLARKE. 2008. Plymouth: Primer-E. PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods, Plymouth, UK: Primer-E.
- APROOT, A., R. LÜCKING, H.J.M. SIPMAN, L. UMAÑA & J.L. CHAVES. 2008. Pyrenocarpous lichens with bitunicate asci. A first assessment of the lichen biodiversity inventory in Costa Rica. *Bibliotheca Lichenologica* 97: 1-162
- ANZE, R., M. FRANKEN, M. ZABALLA, M. PINTO, G. ZEBALLOS, M.Á CUADROS, Á. CANSECO, A. DE LA ROCHA, V.H. ESTELLANO & S. DEL GRANADO. 2007. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *Revista Virtual Redesma* 1: 54-74.
- BARRENO, E. & S. PEREZ-ORTEGA. 2003. The UNESCO-MAB Reserve of Muniellos (Spain, Asturias), an example of high Lichen diversity in Europe and the success of conservation strategies. *Flora Mediterránea* 15: 453-460.
- BOLUND, P. & S. HUNHAMMAR. 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics* 29: 293-301.
- BRODO, I. M., S. DURAN SHARNOFF & S. SHARNOFF. 2001. *Lichens of North America*. Yale University Press, New Haven & London. 795 pp.
- BRUNIALTI, G. & P. GIORDANI. 2003. Variability of lichen diversity in a climatically heterogeneous area. *The Lichenologist* 35: 55-69.
- BUNGARTZ, F. 2008. Cyanolichens of the Galapagos Islands – The genera *Collema* and *Leptogium*. *Sauteria* 15: 139-158.
- CALATAYUD, A., V.I. DELTORO, A. ABADIA, J. ABADIA & E. BARRENO. 1999. Effects on ascorbate feeding on chlorophyll fluorescence and xanthophyll cycle components in the lichen *Parmelia quercina* (Willd.) Vainio exposed to atmospheric pollutants. *Physiologia Plantarum* 105: 679-684.
- CALATAYUD LORENTE, V. & M.J. SANZ SÁNCHEZ. 2000. *Guía de líquenes epífitos. Ministerio de Medio Ambiente-Parques Nacionales. Serie Técnica*, Madrid. 185 pp.
- CANSECO, A., R. ANZE & M. FRANKEN. 2006. Comunidades de líquenes: indicadores de la calidad del aire en la ciudad de La Paz, Bolivia. *Acta Nova* 3: 286-307.
- CONTI, M.E. & G. CECCHETTI. 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. *Environmental Pollution* 114: 471-492.
- DELTORO, V. I., C. GIMENO, A. CALATAYUD & E. BARRENO. 1999. Effects of SO<sub>2</sub> fumigations on photosynthetic CO<sub>2</sub> exchange, chlorophylla fluorescence emission and antioxidant enzymes in the

- lichens *Evernia prunastri* and *Ramalina farinacea*. *Physiologia Plantarum* 105: 648-654.
- EGGER, R., D. SCHLEE & R. TÜRK. 1994. Changes of physiological and biochemical parameters in the lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. Due to the action of air pollutants—a field study. *Phyton* 35: 229-242.
- FENN, M. E., L. GEISER, R. BACHMAN, T.J. BLUBAUGH & A. BYTNEROWICZ. 2007. Atmospheric deposition inputs and effects on lichen chemistry and indicator species in the Columbia River Gorge, USA. *Environmental Pollution* 146: 77-91.
- FRATI, L., E. CAPRASECCA, S. SANTONI, C. GAGGI, A. GUTTOVA, S. GAUDINO, A. PATI, S. ROSAMILIA, S.A. PIRINTSOS & S. LOPPI. 2006. Effects of NO<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> from road traffic on epiphytic lichens. *Environmental Pollution* 142: 58-64.
- FUGAL, A., M. SAIKI, M. MARCELLI & P. SALDIVA. 2008. Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. *Environmental Pollution* 151: 334-340.
- GARCÍA, S. & M. GUERRERO. 2006. Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes. Parque urbano Monte Calvario, Tandil, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande* 35: 45-57.
- GARTY, J., Y. KARARY, J. HAREL & S. LURIE. 1993. Temporal and spatial fluctuations of ethylene production and concentrations of sulphur, sodium, chlorine and iron on/in the thallus cortex in the lichen *Ramalina duriaei* (De Not.) Bagl. *Environmental and Experimental Botany* 33: 553-563.
- GIORDANI, P. 2007. Is the diversity of epiphytic lichens a reliable indicator of air pollution: A case study from Italy. *Environmental Pollution* 146: 317-323.
- GRIES, C. 1999. Lichens as indicators of air pollution. En: T.H. Nash III (eds). *Lichen biology*: 240–254. Cambridge University Press, Cambridge.
- HAWKSWORTH, D.L., T. ITURRIAGA & A. CRESPO. 2005. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos. *Revista Iberoamericana de Micología* 22: 71-82.
- KÄFFER, M., S. MARTINS, C. ALVES, V. PEREIRA, J. FACHEL & V. VARGAS. 2011. Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. *Ecological Indicators* 11: 1319- 1332.
- KRANNER, I., R. BECKETT, A. HOCHMAN & T. NASH. 2008. Desiccation-Tolerance in Lichens: A review. *The Bryologist* 111: 576-593.
- KRICKE, R & S. LOPPI. 2002. Bioindication: The I.A.P. approach. En: P.L. Nimmis, C. Scheidegger & P. A. Worsley (eds). *Monitoring with lichens – Monitoring lichens*: 21-27. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands.
- LE BLANC, S. F. & J.D. SLOOVER. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Canadian Journal of Botany* 48: 1485-1496.
- LIJTEROFF, R., L. LIMA & B. PRIERI. 2009. Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en la ciudad de San Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 25: 111-120.
- MÉNDEZ, O. & L.A. FOURNIER. 1980. Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 28: 31-39.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2010. *Plan Nacional de Calidad del Aire*. República del Ecuador. Quito. 74 pp.
- NASH, III T.H. 1996. *Lichen biology*. Cambridge, University Press, Cambridge. 303 pp.
- NASH, III T. H., B.D. RYAN, P. DIEDERICH, C. GRIES & F. BUNGARTZ. (eds.). 2004. *Lichen Flora of the Greater Sonoran Desert Region*, Vol. 2. Lichens Unlimited, Arizona State University. Tempe, AZ. 742 pp.
- OKSANEN, J., F.G. BLANCHET, R. KINDT, P. LEGENDRE, P.R. MINCHIN, R.B. O'HARA, G.L. SIMPSON, P. SOLYMOS, M.H. STEVENS

- & H. WAGNER. 2013. Package 'Vegan'. Community Ecology Package: 2.
- PESCOTT, O.L., J.M. SIMKIN, T.A. AUGUST, Z. RANDLE, A.J. DORE & M.S. BOTHAM. 2015. Air pollution and its effects on lichens, bryophytes, and lichen-feeding Lepidoptera: review and evidence from biological records. *Biological Journal of the Linnean Society* 115: 611-635.
- PROGRAMA NACIONES UNIDAS, MUNICIPALIDAD DE LOJA & NATURALEZA Y CULTURA INTERNACIONAL. 2007. *Perspectivas del Medio ambiente urbano: GEO Loja*. 165 pp.
- PURVIS, O.W. & B. PAWLIK-SKOWRÓNSKA. 2008. Lichens and metals. En: P. Van West, M. Stafford & S. Avery (eds). *Stress in fungi: 175-200*. Elsevier, Mycological Society Symposia Series, Amsterdam.
- RINCÓN, J. 2012. *Líquenes como bioindicadores en el monitoreo de la calidad del aire*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia. 60 pp.
- RIQUELME, F. 2008. *Evaluación del Uso de Líquenes como Indicadores Biológicos de Contaminación Atmosférica en la quebrada de la Plata, Región Metropolitana*. Universidad De Chile. Facultad De Ciencias Forestales Escuela De Ciencias Forestales. Departamento De Manejo De Recursos Forestales. Santiago 57 pp.
- ROJAS, N. 2010. *Aire y Problemas Ambientales de Bogotá*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 15 pp.
- RUBIANO, L.J. 1983. Líquenes como indicadores de Contaminación en el Complejo Industrial de Betania y la Termoeléctrica de Zipaquira, Cundimarca. *Acta Biológica Colombiana* 1: 95-125.
- RUBIANO, L.J. 2002. Monitoria de áreas de isocontaminación en la región de influencia de la Central Termoeléctrica Martín del Corral utilizando líquenes como bioindicadores. *Perezarbelaezia* 13:91-104.
- SÁENZ, A.E., F. FLORES, L. MADRIGAL & J.D. DI STEFANO. 2007. Estimación del grado de contaminación del aire por medio de la cobertura de líquenes sobre troncos de árboles en la ciudad de San José, Costa Rica. *Brenesia* 68: 29-35.
- SANTONI, C. & R. LIJTEROFF. 2006. Evaluación de la calidad del aire mediante el uso de bioindicadores en la provincia de san Luis, Argentina. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 22: 49-58.
- SIMIJA-SALCEDO, D.F., D.L. VARGAS-ROJAS & M.E. MORALES-PUENTES. 2014. Uso de organismos vegetales no vasculares como indicadores de contaminación atmosférica urbana (Tunja, Boyacá, Colombia). *Acta Biológica Colombiana* 9: 221-232.
- TRUSCOTT, A.M., S.C.F. PALMER, G.M. MCGOWAN, J.N. CAPE & S. SMART. 2005. Vegetation composition of roadside verges in Scotland: the effects of nitrogen deposition, disturbance and management. *Environmental Pollution* 136: 109-118.
- TZOULAS, K., K. KORPELA, S. VENN, V. YLIPELKONEN, A. KAZMIERCZAK, J. NIEMELA & P. JAMES. 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and urban planning* 81: 167-178.
- VAN DOBBEN, H.F., H.T. WOLTERBEEK, G.W.W. WAMELINK & C.J.F. TER BRAAK. 2001. Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. *Environmental Pollution* 112: 163-169.
- WOLSELEY, P. & P. JAMES. 2002. Assessing the role of biological monitoring using lichens to map excessive ammonia (NH<sub>3</sub>) deposition in the UK. Effects of NO<sub>x</sub> and NH<sub>3</sub> on Lichen Communities and Urban Ecosystems. A Pilot Study. The Natural History Museum and Imperial College of Science, Technology and Medicine, Londres: 68-86.

Recibido: 20/10/2014

Aceptado: 28/09/2015